中国生态农业学报 2016 年 10 月 第 24 卷 第 10 期
Chinese Journal of Eco-Agriculture, Oct. 2016, 24(10): 1428−1434

DOI: 10.13930/j.cnki.cjea.160017

我国农业用水安全的分区及发展对策*

王西琴[1] 吴若然[1] 李兆捷[2] 杨永辉[3]

(1. 中国人民大学农业与农村发展学院 北京 100872; 2. 云南省大理州农业局 大理 671000;
3. 中国科学院遗传与发育生物学研究所农业资源研究中心 石家庄 050022)

摘 要 针对我国农业用水区域差异特点，选择水资源状况、农业用水特征、经济发展水平、农业生产条件等 4 个方面的 10 个指标，采用聚类分析方法，以 2013 年为基准年对我国农业用水进行分区，为我国农业用水安全提供依据。结果表明，按照省级行政单元农业用水可划分为 8 类地区，第 1 类地区包括江西、湖南、湖北等 3 省，农业用水量和粮食产量分别占全国农业用水量和粮食产量的 13.3%和 12.5%；第 2 类地区包括贵州、云南、安徽、四川、重庆、广西等 6 个省(直辖市、自治区)，上述 2 个指标分别为 23.6%和 20.3%；第 3 类地区是海南省，上述 2 个指标分别为 0.9%和 0.3%；第 4 类地区包括山东、河南、河北、辽宁、山西、陕西、甘肃等 7 省，以占 6.8%的水资源量、19.2%的农业用水量，生产了 33.7%的农业产值和 32.4%的粮食；第 5 类地区包括吉林、黑龙江、内蒙古等 3 省(自治区)，以占 6.9%的水资源量、12.0%的农业用水量，生产了 20.5%的粮食；第 6 类地区包括宁夏、新疆、西藏、青海等 4 个省(自治区)，农业用水量、粮食产量分别占 16.2%和 3.2%；第 7 类地区包括福建、广东、江苏、浙江等 4 省，农业用水量和粮食产量占全国比例分别为 19.5%和 10.2%；第 8 类地区包括天津、上海、北京等 3 个直辖市，农业用水量与粮食产量最低，分别占全国比例为 1.1%和 0.6%。第 4 类和第 5 类地区合计农业用水量和粮食产量占全国比例分别为 31.2%和 52.9%，是我国农业水资源管理特别关注的地区。在此基础上，提出了我国农业用水分区对策，第 1 类地区以节水为主；第 2 类地区以提高灌溉水利用系数为主；第 3 类地区增加有效灌溉面积；第 4 类地区在挖掘本地区节水潜力的前提下，通过外流域调水或水权交易增加水资源总量；第 5 类地区以提高农业用水保障程度为主；第 6 类地区以保护水资源和水源涵养为主；第 7 类、第 8 类地区以提高农业用水效益为主。本文研究结果可为我国农业用水安全提供科学依据。

关键词 农业用水安全 水资源利用 用水分区 农产品
中图分类号: F323.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1671-3990(2016)10-1428-07

Agricultural water security zoning and developmental countermeasures in China*

WANG Xiqin[1], WU Ruoran[1], LI Zhaojie[2], YANG Yonghui[3]

(1. School of Agricultural Economics and Rural Development, Renmin University of China, Beijing 100872, China; 2. Dali Agriculture Bureau of Yunnan Province, Dali 671000, China; 3. Center for Agricultural Resources Research, Institute of Genetics and Developmental Biology, Chinese Academy of Sciences, Shijiazhuang 050022, China)

Abstract Although water resources is the basis of food security, agricultural water shortage is rampant in China. In view of regional differences in agricultural water use in the country, 10 indicators were selected and adopted for zoning of agricultural water consumption. Ten indicators belong to four groups (the conditions of water resources, the level of economic development, the state of agricultural production, and the features of agricultural water use) were selected, and cluster analysis used to divide agricultural water consumption zones with 2013 as the base year. The results indicated that China was divided in

* 国家水体污染控制与治理科技重大专项(2012ZX07501-001)和中国科学院农业水资源重点实验室开放基金项目(KF311201303081)资助
王西琴，从事资源管理与环境经济学方面研究。E-mail: wxiqin@ruc.edu.cn
收稿日期: 2016−03−25 接受日期: 2016−06−01

* This work was supported by the National Science Major Project of Water Pollution Control and Treatment (2012ZX07501-001) and the Open Fund of the Key Laboratory of Agricultural Water Resources, Chinese Academy of Sciences (KF311201303081).
Corresponding author, WANG Xiqin, E-mail: wxiqin@ruc.edu.cn
Received Mar. 25, 2016; accepted Jun. 1, 2016

8 zones of agricultural water consumption based on administrative units at provincial level. The first zone included Jiangxi, Hunan and Hubei Provinces, where the proportions of total agricultural water use (TAWU) and grain production in the country were 13.3% and 12.5%, respectively. The second zone included Guizhou, Yunnan, Anhui, Sichuan, Chongqing and Guangxi Provinces (City or Autonomous Region), where TAWU and grain production were 23.6% and 20.3%, respectively. The third zone covered Hainan Province for which the TAWU and grain production were 0.9% and 0.3%, respectively. Then the forth zone included Shandong, Henan, Hebei, Liaoning, Shanxi, Shaanxi and Gansu Provinces with a combined agricultural output accounting for 33.7% of the total agricultural output of the country and accounted for 32.4% of the China's total grain production. However, it had only 6.8% of the total amount of water and used only 19.2% water resources of the country. The fifth zone included Jilin, Heilongjiang and Inner Mongolia Provinces (Autonomous Region), accounting for 20.5% of the country's total grain production, 6.9% of its total water amount and 12.0% of the TAWU. The sixth zone covered Ningxia, Xinjiang, Tibet and Qinghai, accounting respectively for 16.2% and 3.2% of the country's TAWU and grain production. The seventh zone included Fujian, Guangdong, Jiangsu and Zhejiang Provinces, with 19.5% and 10.2% of China's TAWU and grain production, respectively. The eighth zone included Tianjin, Shanghai, Beijing, etc., which accounted for 1.1% and 0.6% of the China's TAWU and grain production, respectively. As the agricultural water use and grain production in the fourth and fifth zones accounted respectively for 31.2% and 52.9% of the country's total, there was need to treat the two zones with a specific concern in terms of agricultural water management. Among the countermeasures to agricultural water use put forward for the zones, water saving was important for the first zone, improved irrigation water use coefficient for the second zone, increased effective irrigation area in the third zone, and improved total water resources through water transfer from other basins and increased water-saving potential inside the basins for forth zone. There was the need to increase the degree of water assurance in the fifth zone, to focus on water resources protection and conservation in the sixth zone, and to promote water utilization efficiency in the seventh and eighth zones. The paper therefore solidly laid the scientific basis for sustainable utilization of water resources in the whole of China.

Keywords　Agricultural water security; Water utilization; Water consumption zoning; Agricultural product

水在农业生产中起着不可替代的作用，2011 年“中央一号文件水被定义为“生命之源，生产之要，生态之基”[1]。我国人均水资源量约 2 300~2 500 m^3，约为世界人均水量的 1/4，被联合国列为 13 个贫水国家之一，农业用水严重缺乏，缺水量达 3 000×10^8 m^3。水资源安全是粮食安全的基础，粮食安全必须依靠水资源保障[2]，随着我国粮食进口的持续增加，2014 年粮食安全被提升至国家一号战略[3]。我国粮食主产区即长江中下游平原、华北平原、东北平原和西北地区 4 大粮仓等，水资源安全尤为重要[4]。在农业用水匮乏的条件下，我国的农业用水还存在水资源空间分布不均、水土资源布局不合理等问题，如南方地区人口占 53%，耕地占 35%，水资源占 81%，北方地区人口占 47%，耕地占 64%，水资源占 19%；同时，农业用水无论是在用水效益还是用水保障程度方面，均存在着地区差异，灌溉用水利用系数地区差异 0.33，进一步加剧了农业水资源安全及由此引发的粮食安全、农业生态环境安全、农业经济安全、农村社会安全等问题[5−6]。因此，对农业用水进行区域划分，在此基础上提出针对性的分区战略对策，对于有效利用农业用水具有非常重要的现实意义。

已有相关成果为本文研究提供了参考。陈守煜等[7]采用模糊聚类研究全国水资源分区。其他学者研究了流域水资源分区，如海河流域水资源分区[8]、黄河流域水资源分区[9]、长江上游地区水资源分区研究[10]等。刘玉凤等[11]以地貌、气候、灌溉程度、缺水程度等作为分区指标，采用模糊聚类方法将华北地区分为 10 个节水型农业分区，并提出未来不同分区节水重点。申元村等[12]以区域地理位置和大地貌格局将我国西部地区划分为 5 个生态农业区，并指出各区建立特色农业的方向。吕敬堂等[13]以贵州省农业系统为研究对象，根据农业产品供给、就业和生活保障、生态调节和生态约束、文化传承和休闲等 4 类指标，应用聚类分析方法，将贵州省 88 个县划分为 4 个区域，指出各农业区域的功能及其拓展方向。倪深海等[14]综合考虑农业受旱成灾情况、水利设施抗旱能力、耕地灌溉率以及当地的水资源状况等因素，采用层次分析法，将全国受旱成灾地区划分为极严重脆弱区、严重脆弱区、一般脆弱区、轻度脆弱区 4 类地区。上述研究主要集中在水资源分区、节水型农业分区、生态农业分区、农业功能分区、农业干旱脆弱性分区等，以农业用水作为对象进行的分区研究比较鲜见。本文借签前人的研究成果，采用聚类分析方法，选取关键的农业用水指标，以行政区为单元，对我国农业用水进行分区，为我国农业用水安全提供依据。

1 研究方法

1.1 聚类分析方法

聚类分析方法具有过程简单、结果直观的优点，被广泛应用于不同类型的区域划分研究中[7−13]。聚类分析有7种分类方法及其7种距离测度方法[8]。本文选择离差平方和法，距离测度采用欧氏距离平方进行计算，根据方差分析，同类内样本离差平方和较小，不同类之间的平方和较大，分类灵敏度较高。按照距离从大到小的原则，利用离差平方和法和欧氏距离平方聚类的谱系图，确定分类的数量。具体通过SPSS19.0统计软件Q型聚类实现，为避免由于指标变量的量纲不同或数量级差异造成可比性问题，使用软件中的标准化功能，对数据进行标准化处理。

1.2 分区指标与评价标准

分区的关键是确定分区指标，本文参考水资源评价[15]、农业用水可持续利用评价[16]以及相关分区指标[11−16]等指标，建立包括水资源状况、农业用水特征、经济发展水平、农业生产条件等 4 个方面的 13 个指标作为备选指标，并对这些指标进行 Pearson 相关性检验。结果显示，人均 GDP、农村居民纯收入及人均财政收入等 3 个变量之间在 0.05 水平(双侧)上显著相关，万元农业产值用水量与单位粮食生产用水量等两个变量之间在 0.01 水平(双侧)上显著相关。故剔除农村居民纯收入、人均财政收入、单位粮食生产用水量 3 项相关性较高的指标，以 10 个指标作为本文的分区指标(表 1)。

评价标准依据如下：1)以历史统计数据为依据，按照一定的统计概率作为标准的依据，如 50%、75%、90%等；2)对于一些有国际标准的指标，采用国际标准作为依据，如人均水资源量、人均 GDP、第一产业产值比重等；3)以全国 2013 年平均值作为标准等级。最终确定各指标的标准列入表 1。

表 1 农业用水分区指标与标准

Table 1 Indicators and standards of agricultural water consumption zoning

一级指标 First class indicator	二级指标 Second class indicator	标准 Standard			
		高 High	较高 Comparatively high	较低 Comparatively low	低 Low
水资源状况 Water resources	单位国土面积水资源量 Water resource per unit land (m^3·km^{-2})	≥8 070	2 543~8 070	1 353~2 543	<1 353
	人均水资源量 Water resources per capita (m^3·person^{-1})	≥7 342	3 000~7 342	1 000~3 000	<1 000
经济发展水平 Economic situation	人均 GDP GDP per capita (¥·person^{-1})	≥83 850	27 153~83 850	6 865~27 153	<6 865
	第一产业产值比重 Proportion of the first industry output value	≥第二产业产值比重 Greater than or equal to that of the secondary industry	20%≤第一产业产值比重<第二产业产值比重 Greater than or equal to 20% and less than that of the secondary industry	10%~20%	<10%
农业生产条件 Agricultural production conditions	人均耕地面积 Arable land area per capita (hm^2·person^{-1})	≥0.233	0.091~0.233	0.053~0.091	<0.053
	粮食单产 Grain yield (kg hm^{-2})	≥6 095	5 447~6 095	4 435~5 447	<4 435
	单位耕地库容量 Water storage capacity per unit area of arable land (m^3·hm^{-2})	≥34 404	5 803~34 404	3 602~5 803	<3 602
农业用水特征 Agricultural water use situation	单位耕地用水量 Water consumption per unit area of arable land (m^3·hm^{-2})	≥7 462	3 059~7 462	1 954~3 059	<1 954
	灌溉水利用系数 Use coefficient of irrigation water	≥0.700	0.493~0.700	0.435 5~0.493	<0.435 5
	万元农业产值用水量 Water consumption per ten thousand Yuan agricultural output [m^3·(10^4¥)$^{-1}$]	≥2 194	617~2 194	413~617	<413

1.3 数据来源

数据主要来源于 3 个方面：1)统计年鉴。如农业用水量、耕地面积、库容量、粮食产量、第一产值比重等指标，可以直接从统计年鉴获得。2)全国水资源公报、全国水资源综合规划、省级水资源公报、流域水资源综合规划等。如水资源总量、灌溉水利用系数等；3)根据上述资料计算获得。如单位国土面积水资源量、人均水资源量、人均 GDP、人均耕地面积、粮食单产、单位耕地库容量、万元农业产值用水量等指标。

2　结果与分析

根据上述方法, 以 2013 年为基准年, 对全国 31 个省(自治区、直辖市)进行聚类分区。将全国农业用水分为 8 类地区，这 8 类地区主要指标特征值表现出明显的差异(表 2, 3)。

2.1　各区农业用水量与粮食产量

第 1 类地区包括江西、湖南、湖北等 3 省, 农业用水量和粮食产量占全国同类指标的比例分别为 13.3%和 12.5%。第 2 类地区包括贵州、云南、安徽、四川、重庆、广西等 6 个省(直辖市、自治区), 农业用水量在 8 类地区中占全国同类指标比例最大, 为 23.6%, 粮食产量占全国 20.3%, 排序第 3 位, 其中广西自治区的农业用水量超过 209.4×10^8 m^3, 居全国第 4 位。第 3 类地区为海南省, 农业用水量与粮食产量分别占全国的 0.9%和 0.3%。第 4 类地区包括山东、河南、河北、辽宁、山西、陕西、甘肃等 7 个省, 以占全国 6.8%的水资源量和 19.2%的农业用水量生产了占全国 32.4%的粮食产量。第 5 类地区包括吉林、黑龙江、内蒙古等 3 省(自治区), 以占全国 6.9%的水资源量、12.0%的农业用水量生产了占全国 20.5%的粮食产量, 其中黑龙江省的农业用水量位居全国第 2, 为第 310.2×10^8 m^3。4、5 类地区合计农业用水量占全国的 31.2%、粮食产量占全国 53%。第 6 类地区包括宁夏、新疆、西藏、青海等 4 个省(自治区), 占全国农业用水量的 16.2%, 粮食产量仅占全国 3.2%, 其中新疆自治区农业用水量在全国最高, 为 557.7×10^8 m^3。第 7 类地区包括福建、广东、江苏、浙江等 4 省, 农业用水量占全国比例 19.5%, 粮食产量仅占全国 10.2%, 其中江苏省农业用水量位于全国第 3, 约为 301.9×10^8 m^3。第 8 类地区农业用水量与粮食产量最低, 分别占全国的比例为 1.1%和 0.6%。

表 2　我国农业用水各分区主要用水指标占全国的比例

Table 2　Proportions of water consumption indicators of each agricultural water consumption zone to the country of China　%

分区 Zone	省(市、自治区) Province (City or Autonomous Region)	水资源总量 Total of water resources	国土面积 Land area	农业用水量 Agricultural water consumption	耕地面积 Arable land area	水库库容 Reservoir water storage	粮食产量 Grain output	第一产值 Primary industry output value
Ⅰ	江西、湖南、湖北 Jiangxi, Hunan, Hubei	14.0	5.9	13.3	9.3	24.3	12.5	13.1
Ⅱ	贵州、云南、安徽、四川、重庆、广西 Guizhou, Yunnan, Anhui, Sichuan, Chongqing, Guangxi	31.0	15.7	23.6	21.9	27.0	20.3	17.7
Ⅲ	海南 Hainan	2.0	0.4	0.9	0.6	1.3	0.3	1.2
Ⅳ	山东、河南、河北、辽宁、山西、陕西、甘肃 Shandong, Henan, Hebei, Liaoning, Shanxi, Shaanxi, Gansu	6.8	15.3	19.2	31.7	17.7	32.4	33.7
Ⅴ	吉林、黑龙江、内蒙古 Jilin, Heilongjiang, Inner Mongolia	6.9	18.9	12.0	20.1	8.4	20.5	9.2
Ⅵ	宁夏、新疆、西藏、青海 Ningxia, Xinjiang, Tibet, Qinghai	23.5	38.2	16.2	5.0	6.8	3.2	3.0
Ⅶ	福建、广东、江苏、浙江 Fujian, Guangdong, Jiangsu, Zhejiang	15.5	5.3	19.5	8.9	13.5	10.2	18.3
Ⅷ	天津、上海、北京 Tianjin, Shanghai, Beijing	0.3	0.4	1.1	0.8	1.0	0.6	1.5

2.2　各分区农业用水保障程度与节水潜力

由于降水季节与农作物需水季节的差异性, 我国大部分地区以灌溉农业为主, 农田水利在保障农业生产过程中的作用十分重要。2013 年我国水库总容量 $8\ 298.21\times10^8$ m^3, 各省平均库容量为 267.68×10^8 m^3。从水库总容量看, 主要粮食产区第 4 类和第 5 类地区水库库容占全国比例分别为 17.7%、8.4%, 特别是第 4 类地区的山西、陕西、甘肃等 3 省的水库库容仅为 69.2×10^8 m^3、88.5×10^8 m^3、105.4×10^8 m^3, 农业用水保障程度低。

灌溉水利用系数是灌入田间可被作物利用的水量与渠首引进的总水量的比值[17], 我国灌溉水利用系数从 2000 年的 0.43 提高至目前的 0.49, 但与发达国家农业灌溉水利用系数 0.7~0.8 相比, 还有较大差距[18]。第 4 和第 5 类地区灌溉水利用系数分别为 0.51 和 0.54, 其中第 4 类地区除河北省较高为 0.64 外, 其余均较低, 特别是山西、甘肃 2 省低于 0.5, 大约为 0.49, 第 5 类地区的黑龙江、吉林省的灌溉水利用系数分别为 0.54 和 0.51。第 2 类地区低于全国平均水平, 平均约为 0.43, 其中广西灌溉水利用系数为 0.39。第 6 类地区较低为 0.45, 其中宁夏和新疆的灌溉水利用系数分别为 0.43 和 0.47。

国内外对节水潜力的内涵还没有一个公认的、统一的标准, 相应地, 对于节水潜力的计算也就缺

表 3 我国农业用水各分区农业用水主要指标比较

Table 3 Comparison of water consumption indicators of each agricultural water consumption zone of China

分区 Zone	人均水资源 Water resource per capita ($m^3 \cdot person^{-1}$)	人均耕地面积 Arable land area per capita ($hm^2 \cdot person^{-1}$)	单位耕地用水量 Water consumption per unit area of arable land ($m^3 \cdot hm^{-2}$)	粮食单产 Grain yield ($kg \cdot hm^{-2}$)	单位耕地库容量 Water storage capacity per unit area of arable land ($m^3 \cdot hm^{-2}$)	单位粮食用水量 1) Water consumption per unit grain ($m^3 \cdot t^{-1}$)	灌溉水利用系数 Utilization coefficient of irrigation water	2030 年节水潜力 2) Water-saving potential in 2030 ($10^8 m^3$)
全国 Nation	1 811.6	0.089	3 030.95	627.0	5 803.4	612.9	0.49	731.9
Ⅰ	2 048.9	0.200	5 198.22	1 333.2	14 917.0	721.9	0.45	120.0
Ⅱ	2 464.5	0.591	3 097.25	1 449.2	4 899.0	819.1	0.43	159.3
Ⅲ	5 563.3	0.081	4 440.82	540.0	13 096.9	1 692.4	0.54	2.5
Ⅳ	407.8	0.740	1 918.59	2 363.5	3 591.6	521.1	0.51	118.7
Ⅴ	1 853.4	0.796	2 110.88	1 538.0	2 687.3	446.6	0.54	77.3
Ⅵ	15 661.7	0.561	9 377.98	635.7	8 418.0	2 994.2	0.45	108.9
Ⅶ	1 431.5	0.157	6 761.91	2 241.7	11 048.5	1 386.2	0.51	139.4
Ⅷ	160.4	0.051	5 054.34	1 283.5	17 840.4	1 113.0	0.68	5.7

1)粮食生产用水量=(粮食作物播种面积/农作物总播种面积)×农业用水量，单位粮食用水量=粮食用水量/粮食总产量；2)依据《全国水资源综合规划(2008)》计算。1) Grain production water consumption = (grain crops sown area / total sown area of crops) × agricultural water consumption, water consumption per unit grain = agricultural water consumption / total grain output. 2) Calculated according to the National Water Resources Planning, 2008.

乏一致的方法。有关节水潜力计算的文献大多以灌溉水利用系数及田间净灌溉定额为评价标准[19]。本文根据灌溉用水利用系数计算各分区的节水潜力(表3)，结果显示，在耕地面积、种植结构保持不变，提高灌溉水利用系数的情况下，2030 年我国农业节水潜力约 731.9×10^8 m^3，其中第 2、第 4 和第 5 类等分区的节水潜力分别约为 159.3×10^8 m^3、118.7×10^8 m^3 和 77.3×10^8 m^3。

2.3 各分区农产品构成

进一步考察各分区农产品产量的地区差异(表 4)，可以看出，第 4、第 5、第 2 类地区是粮食主产区，合计占全国粮食产量的 73.1%。第 6、第 4 和第 1 类地区是棉花产量主要分布区，分别占 39.6%、36.2%和12.8%，仅前两者就占 75.8%。第 4、第 2 和第 1 类地区是油料作物主要分布区，合计占全国总产量的79.4%。水果、肉类和禽蛋等农产品主要分布在第 4、第 7 和第 2 类地区，合计水果占 77.6%，肉类占 72.0%，禽蛋占 78.6%，水产品主要分布在第 4、第 7 和第 1 类地区，合计占82.4%，奶类以第4、第5类为主，占78.9%。

综上所述，粮食、油料等作物主要集中分布在第 4、第 2 和第 5 类地区，棉花集中分布在第 6 类地区。其中第 4 类地区粮食、棉花、油料、肉类、奶类等均在 30%以上，水果、禽蛋类在 46%以上，是最重要的农产品生产地区。

表 4 我国农业用水各分区主要农产品产量占全国比例

Table 4 Proportions of major agricultural products of each agricultural water consumption zone to that of the country of China %

分区 Zone	粮食 Grain	棉花 Cotton	油料 Oil	麻类 Hemp	甘蔗 Sugar	甜菜 Beet	烟叶 Tobacco	茶叶 Tea	水果 Fruit	肉类 Meat	奶类 Milk	禽蛋 Eggs	水产品 Fish
Ⅰ	12.5	12.8	18.9	32.5	1.5	0.0	13.5	19.8	9.5	14.6	1.3	9.5	14.2
Ⅱ	20.3	5.7	22.6	34.5	81.9	0.0	56.6	38.3	15.3	26.5	5.8	12.8	11.8
Ⅲ	0.3	0.0	0.3	0.3	4.2	0.0	0.0	0.1	1.7	0.9	0.0	0.1	2.9
Ⅳ	32.3	36.2	37.9	13.3	0.3	10.1	17.9	5.0	46.4	30.9	38.4	55.2	25.9
Ⅴ	20.5	0.1	6.3	14.2	0.0	31.5	5.3	0.0	3.6	8.5	40.5	9.1	1.3
Ⅵ	3.2	39.6	3.8	4.2	0.0	58.3	0.2	0.0	6.2	2.5	7.0	1.2	0.4
Ⅶ	10.2	4.5	10.0	1.0	12.2	0.0	6.6	36.8	15.9	14.6	2.8	10.6	42.3
Ⅷ	0.6	1.2	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.4	1.5	4.2	1.6	1.4

3 讨论与结论

1)根据农业用水特点并结合水资源条件、农业生产、经济发展等，对我国农业用水进行了分区，将全国 31 个省(直辖市、自治区)划分为 8 类地区，并给出各分区农业用水保障程度、节水潜力、粮食产量以及其他农产品的特征值，识别了重要粮食产区及其农业用水面临的问题，从而为未来保障粮食安

全的农业用水战略提供了依据，为分区分类的农业水资源管理提供参考。

2)根据本文农业用水分区结果，未来我国农业用水应充分体现各分区分类的战略重点。第 1 类地区水资源较为缺乏，农业用水的重点是在保证农业正常生产的前提下，减少单位耕地水资源投入，提高灌溉水利用系数。主要从灌溉技术、工程改善等方面加强节水力度。由于第 1 类地区人均 GDP、农村居民年纯收入等均低于全国水平，经济发展较为落后，节水资金投入应依靠中央财政予以扶持。第 2 类、第 4 类、第 5 类地区，以占全国土地面积的 49.9%、耕地面积的 75%、水资源总量的 44.7%、农业用水的 54.8%，生产出占全国 70.8%的粮食产量。这 3 个地区农业用水与农业的稳固与发展，直接关系到我国粮食安全和农业发展的问题，是今后我国农业用水战略的重点地区。特别是第 4 类地区以占全国水资源量的 6.8%、国土面积的 15.3%，产出了占全国 33.7%的农业产值、32.4%的粮食，是农业水资源管理应该特别关注的地区。第 2 类地区灌溉用水有效利用系数约为 0.42，为全国平均水平的 85.19%，因此提高灌溉水利用系数是其改进的重点。第 4 类地区水资源开发利用率远超出警戒线，甚至部分地区超过了 100%，可进一步开发利用的后备水资源严重不足。因此，今后的战略重点是在挖掘本地区节水潜力的前提下，通过外流域调水或水权交易增加水资源总量，以保障粮食安全。第 5 类地区如黑龙江、吉林省近年粮食产量在全国的地位逐年突出，该地区以占全国水资源的 6.9%、水库库容的 8.4%，生产出了 20.5%的粮食，节水潜力十分有限，仅为 77.3×10^8 m^3，粮食生产与水资源之间的矛盾逐渐显现，未来农业用水的战略重点是在节水和提高灌溉水利用系数的同时，加强水利建设，提高农业用水保障程度。第 3 类地区海南省水资源较为丰富，目前以第一产业为主导产业，农业用水效益较低，是全国平均水平的 1.53 倍，有效灌溉面积比约为 33.4%。因此，今后的重点应该以提高用水效率和增加有效灌溉面积为主。第 6 类地区位于我国大江大河的上游地区，水资源丰富(宁夏除外)，是我国重要的生态功能保护区。因此，需要特别注意农业生产与水资源保护之间的协调关系，以保护水资源和水源涵养为主。第 7 类地区灌溉水利用系数略高于全国平均水平，该分区是我国经济、科技较为发达的地区，在农业产业化发展上具备资金和科技的优势，因此农业产业链延伸是其重点，通过调整农业结构和发展生态农业，进一步提高农业用水的经济效益。第 8 类地区水资源利用效率和经济效益处于全国较高水平，但与发达国家相比较仍然有潜力可挖，因此要发挥自身经济实力和科技能力，进一步提高农业用水效益，提高节水灌溉面积和水分生产能力。

3)分区是为了更好地识别区域差异特征，进而提出因地制宜的发展对策。比如，我国已有的《全国水资源分区》、《中国综合自然区划》、《全国生态区划》、《中国综合农业区划》等，在水资源评价与规划、自然资源开发利用与保护、生态功能识别与重要生态功能区保护、以及农业生产发展方向和建设途径等方面发挥了重要的作用。本文仅从宏观层次对我国农业用水分区作了初步研究，揭示了各分区农业用水特点、节水潜力，以及各分区粮食产量和其他农产品的特征，为农业用水安全保障及其水资源管理战略重点提供决策依据。由于受数据资料的限制，在指标体系的建立以及标准的确定等方面还有待改进，希望在今后的研究中进一步深入和完善。

参考文献 References

[1] 刘昌明. 中国农业水问题：若干研究重点与讨论[J]. 中国生态农业学报, 2014, 22(8): 875–879
Liu C M. Agricultural water issues in China: Discussions on research highlights[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2014, 22(8): 875–879

[2] 康绍忠. 水安全与粮食安全[J]. 中国生态农业学报, 2014, 22(8): 880–885
Kang S Z. Towards water and food security in China[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2014, 22(8): 880–885

[3] 张正斌, 徐萍, 段子渊. 粮食安全应成为中国农业现代化发展的终极目标[J]. 中国生态农业学报, 2015, 23(10): 1215–1219
Zhang Z B, Xu P, Duan Z Y. Food security should be the ultimate goal of agricultural modernization in China[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2015, 23(10): 1215–1219

[4] 张正斌, 段子渊, 徐萍, 等. 中国粮食和水资源安全协同战略[J]. 中国生态农业学报, 2013, 21(12): 1441–1448
Zhang Z B, Duan Z Y, Xu P, et al. Synergy strategy of food and water security in China[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2013, 21(12): 1441–1448

[5] 李玉敏, 王金霞. 农村水资源短缺：现状、趋势及其对作物种植结构的影响——基于全国 10 个省调查数据的实证分析[J]. 自然资源学报, 2009, 24(2): 200–208
Li Y M, Wang J X. Situation, trend and its impacts on cropping pattern of water shortage in the rural areas: Empirical analysis based on ten provinces' field survey in China[J]. Journal of Natural Resources, 2009, 24(2): 200–208

[6] 姜文来. 应对我国水资源问题适应性战略研究[J]. 科学对

社会的影响, 2010(2): 24–29
Jiang W L. Research on adaptation strategies for coping with problems of water resources in China[J]. Impact of Science on Society, 2010(2): 24–29

[7] 陈守煜, 李亚伟. 基于模糊迭代聚类的水资源分区研究[J]. 辽宁工程技术大学学报, 2004, 23(6): 848–851
Chen S Y, Li Y W. Fuzzy clustering iterative model and its application in water resource partition[J]. Journal of Liaoning Technical University, 2004, 23(6): 848–851

[8] 柳长顺, 刘昌明, 杨红. 海河流域水资源管理分区研究[J]. 地理学报, 2004, 59(3): 349–356
Liu C S, Liu C M, Yang H. Zoning for water resource management in the Haihe River basin[J]. Acta Geographica Sinica, 2004, 59(3): 349–356

[9] 潘启民, 张如胜, 李中有. 黄河流域分区水资源量及其分布特征分析[J]. 人民黄河, 2008, 30(8): 54–55
Pan Q M, Zhang R S, Li Z Y. Analysis on Zonal Volume of water resources and its distribution characteristic of the Yellow River basin[J]. Yellow River, 2008, 30(8): 54–55

[10] 梁川, 刘玉邦. 长江上游流域水文生态系统分区及保护措施[J]. 北京师范大学学报: 自然科学版, 2009, 45(5): 501–508
Liang C, Liu Y B. Hydro-ecological protection and zoning in the upper valley of the Yangtze River[J]. Journal of Beijing Normal University: Natural Science, 2009, 45(5): 501–508

[11] 刘玉凤, 黄介生, 伍靖伟. 基于最大树法的华北地区节水型农业分区[J]. 中国农村水利水电, 2013(12): 80–84
Liu Y F, Huang J S, Wu J W. North China's water-saving agricultural zoning based on the maximum tree[J]. China Rural Water and Hydropower, 2013(12): 80–84

[12] 申元村, 张洪业, 王秀红. 农业在西部大开发中的地位及生态农业分区[J]. 干旱区资源与环境, 2003, 17(3): 1–6
Shen Y C, Zhang H Y, Wang X H. The role of agriculture in the development of western China and eco-agricultural division[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2003, 17(3): 1–6

[13] 吕敬堂, 吕大明, 张浩. 基于 SPSS 的农业功能聚类分区方法[J]. 中国农业资源与区划, 2010, 31(1): 68–74
Lü J T, Lü D M, Zhang H. A cluster district method for agricultural function based on SPSS[J]. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning, 2010, 31(1): 68–74

[14] 倪深海, 顾颖, 王会容. 中国农业干旱脆弱性分区研究[J]. 水科学进展, 2005, 16(5): 705–709
Ni S H, Gu Y, Wang H R. Study on frangibility zoning of agricultural drought in China[J]. Advances in Water Science, 2005, 16(5): 705–709

[15] 贾绍凤, 张军岩, 张士锋. 区域水资源压力指数与水资源安全评价指标体系[J]. 地理科学进展, 2002, 21(6): 538–544
Jia S F, Zhang J Y, Zhang S F. Regional water resources stress and water resources security appraisement indicators[J]. Progress in Geography, 2002, 21(6): 538–544

[16] 黄初龙, 邓伟, 杨建锋. 农业水资源可持续利用评价指标体系构建及其应用[J]. 农业现代化研究, 2005, 26(6): 422–425
Huang C L, Deng W, Yang J F. On construction and application of indicators system of sustainable utilization of agricultural water resources[J]. Research of Agricultural Modernization, 2005, 26(6): 422–425

[17] 中华人民共和国水利部. 农村水利技术术语[SL56—2013][S]. 北京: 中国水利水电出版社, 2013
The Ministry of Water Resources of Peoples Republic of China. Technical Terminology for Rural Water Conservancy [SL56–2013][S]. Beijing: China Water Power Press, 2013

[18] 彭世彰, 高晓丽. 提高灌溉水利用系数的探讨[J]. 中国水利, 2012(1): 33–35
Peng S Z, Gao X L. Discussion on improvement of irrigated water use coefficient[J]. China Water Resources, 2012(1): 33–35

[19] 崔远来, 熊佳. 灌溉水利用效率指标研究进展[J]. 水科学进展, 2009, 20(4): 590–598
Cui Y L, Xiong J. Advances in assessment indicators of irrigation water use efficiency[J]. Advances in Water Science, 2009, 20(4): 590–598